

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Toru NODA

Title: COMBUSTION CONTROL SYSTEM AND METHOD FOR
SPARK-IGNITION INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Appl. No.: Unassigned

Filing Date: **APR 21 2004**

Examiner: Unassigned

Art Unit: Unassigned

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

- Japanese Patent Application No. 2003-126869 filed 05/02/2003.

Respectfully submitted,

Date APR 21 2004

By 

FOLEY & LARDNER LLP
Customer Number: 22428
Telephone: (202) 672-5414
Facsimile: (202) 672-5399

Richard L. Schwaab
Attorney for Applicant
Registration No. 25,479

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 5 月 2 日
Date of Application:

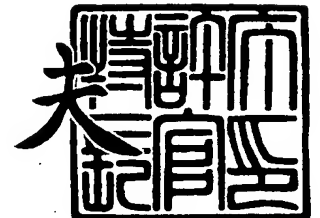
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 2 6 8 6 9
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 2 6 8 6 9]

出 願 人 日 産 自 動 車 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

2 0 0 4 年 2 月 2 3 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NM02-02717

【提出日】 平成15年 5月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F02D 41/02
F02D 41/325

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 日産自動車株式会社
社内

【氏名】 野田 徹

【特許出願人】

【識別番号】 000003997

【氏名又は名称】 日産自動車株式会社

【代理人】

【識別番号】 100078330

【弁理士】

【氏名又は名称】 笹島 富二雄

【電話番号】 03-3508-9577

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009232

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705787

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 火花点火式内燃機関の燃焼制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

火花点火式内燃機関において、
機関の運転状態を検出する手段と、
検出された機関運転状態に基づいてエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段と、
機関の燃焼を制御する手段と、を備え、
前記予測手段によるエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量の
関係が、ノッキング強度が所定値以下となるよう、前記燃焼制御手段により機関
の燃焼制御を行うことを特徴とする火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 2】

火花点火式内燃機関において、
機関の運転状態を検出する手段と、
検出された機関運転状態に基づいてエンドガスの自着火発生時期および自着火
による発熱量を予測する手段と、
予測された自着火発生時期および自着火による発熱量からノッキング強度を推
定する手段と、
機関の燃焼を制御する手段と、を備え、
前記ノッキング強度推定手段によるノッキング強度が所定値以下となるよう、
前記燃焼制御手段により機関の燃焼制御を行うことを特徴とする火花点火式内燃
機関の燃焼制御装置。

【請求項 3】

前記ノッキング強度は、エンドガスの自着火による発熱量が大きい程強く、自
着火発生時期が進角側である程強いと推定することを特徴とする請求項 1 または
請求項 2 に記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 4】

前記ノッキング強度は、機関回転速度が高回転側である程強いと判定すること

を特徴とする請求項 3 記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 5】

前記ノッキング強度に関する所定値は、トレースノック相当のノッキング強度であることを特徴とする請求項 1～請求項 4 のいずれか 1 つに記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 6】

前記燃焼制御手段は、点火時期を制御する手段であることを特徴とする請求項 1～請求項 5 のいずれか 1 つに記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 7】

前記エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段は、エンドガスの着火遅れ時間を予測する手段であることを特徴とする請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 つに記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 8】

前記エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段は、着火遅れ時間の逆数を積分することでエンドガスの自着火を予測する手段であることを特徴とする請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 つに記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【請求項 9】

前記エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段は、化学素反応モデルに基づく自着火予測手段であることを特徴とする請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 つに記載の火花点火式内燃機関の燃焼制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、火花点火式内燃機関の燃焼制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、火花点火式内燃機関において、圧縮比を大きくすることが熱効率向上のために有効であるが、ノッキングの発生はその性能向上の阻害要因の 1 つである

ことが知られている。

【0 0 0 3】

そこで、機関にロックセンサーを取り付けてノッキングの発生を検知し、点火時期等に対してフィードバック制御を行うことで、機関の効率を出来るだけ高く維持しつつ、ノッキングの発生を回避する試みが多くなされてきており、自動車用の内燃機関においては、既に多くの機関にこの仕組みが装備されている。

【0 0 0 4】

しかしながら、ノッキングの発生を検知してから回避制御を行うだけでなく、ノッキングの発生を計算モデルに基づいて事前に予測可能であれば、より確実にノッキングの回避を行うことが可能となるはずである。

【0 0 0 5】

また点火時期の制御などでは、機関の回転速度（回転数）や出力に対して点火時期をマップ上に設定し、上記のようなノッキング検知による補正を行う手法が一般的であった。この場合、予め実機において膨大な量の実験を行い、設定すべき点火時期を求めておく必要がある。このため、近年のように、可変動弁機構や E G R 等の可変機構が一般化する中では、点火時期の設定のための実験量もさらに拡大し、内燃機関の開発コストや開発機関の増大を招いているという問題があった。

【0 0 0 6】

従って、ノッキングの発生を計算モデルに基づいて予測制御することは、点火時期設定のための実験の大部分もしくは少なくとも一部を省略することに繋がり、開発効率上のメリットがある。

【0 0 0 7】

このようなノッキングの発生を予測して、これを回避しつつ高効率を維持するべく燃焼制御を行う内燃機関の燃焼制御装置として、特許文献 1 には、内燃機関の未燃ガスの自着火、すなわちノッキングの発生時期を予測し、ノッキングが発生しないよう、内燃機関の燃焼を制御することが開示されている。

【0 0 0 8】

【特許文献 1】

特開平 7-332149 号公報

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

ここでノッキングの発生は、その強度が大きい場合、機関の耐久性に問題が生じることや、不快な打音を生じることがあるが、軽度のノッキングではこれらの問題を特に引き起こさず、いわゆるトレースノック相当であれば、これに点火時期を設定して機関を継続的に運転可能である。すなわち、ノッキングの発生を予測してこれを回避しようとする場合、ノッキング強度がトレースノック相当になるまで、点火時期を遅角するなどの制御を行えばよい。

【0010】

しかしながら、特許文献 1 においては、未燃ガスの自着火が発生しなくなることがノッキング回避の条件とされており、ノッキング強度に関する考え方が導入されておらず、必要以上の点火時期遅角により、本来不要な機関の効率低下を生じるおそれがある。これは、未燃ガスの自着火の予測と、実際のノッキング現象との相関について知見が不足していたことに一因がある。

【0011】

本発明は係る問題点に鑑みなされたもので、未燃ガスの自着火を予測してノッキング回避制御を行う場合に、ノッキング回避制御の精度を向上させ、機関の効率を維持可能な燃焼制御を行うことを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

そのため本発明では、火花点火式内燃機関の運転状態を検出し、これに基づいてエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測し、これらの自着火発生時期および自着火による発熱量の関係が、ノッキング強度が所定値以下となるよう、機関の燃焼制御を行う。

【0013】

また本発明では、自着火発生時期および自着火による発熱量からノッキング強度を推定して、このノッキング強度が所定値以下となるよう、機関の燃焼制御を行う。

【0014】**【発明の効果】**

本発明によれば、エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量の関係に基づいて、ノッキング強度が所定値以下となるように燃焼制御されるため、ノッキング強度を考慮しつつ機関の熱効率を良好に維持することができる。

【0015】

また本発明によれば、エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量からノッキング強度を推定することで、より確実にノッキング強度が所定値以下となるように燃焼制御可能となる。

【0016】**【発明の実施の形態】**

以下、図面に基づき、本発明の実施形態について説明する。

図1は、本発明に係る火花点火式内燃機関の第1の実施形態を示す構成図である。

【0017】

内燃機関は、シリンダヘッド1、シリンダブロック2、及びピストン3から画成される燃焼室4を有し、吸気バルブ5を介して吸気ポート7から新気を導入する。

【0018】

吸気バルブ5は、バルブタイミング可変機構5bによって、その開閉タイミングを変更可能である。

吸気ポート7には、燃料噴射弁9が燃焼室4を臨んで配置され、噴射された燃料は新気と混合しながら燃焼室4内に吸入され、燃焼に適した可燃混合気を形成する。そして、燃焼室4内に形成された混合気は、点火プラグ10により点火・燃焼され、排気バルブ6を介して排気ポート8から排出される。

【0019】

内燃機関の運転状態は、エンジンコントロールユニット（以下「ECU」と称する）11によって統合的に制御される。ECU11には、アクセル開度センサ12、水温センサ13、及びクランク角センサ14等から各種信号が入力され、

これらの信号に基づいて ECU 11 の内部で必要な処理・演算を行い、燃料噴射弁 9、点火プラグ 10、及びバルブタイミング可変機構 5b 等を制御する。なお、後述する燃焼制御に必要なエンドガスの自着火予測等も ECU 11 内で行われる。

【0020】

図 2 は、ECU 11 内において、機関の運転状態の検出から燃焼制御までを模式的に示した図である。

先ず、各種センサからの信号が運転状態検出手段に読み込まれ、これらの信号に基づいてバルブタイミング及びこれに伴う機関の有効圧縮比などが推定される。これと同時に、吸気バルブ 5 の閉時期における燃焼室 4 内の温度、圧力、空燃比、及び残留ガス率などが、エアフローメータ、吸気温センサ、スロットル開度センサ等の信号に基づいて推定される。これらの推定値は、後述する燃焼室 2 領域サイクルシミュレーションにおける燃焼予測の初期値として使われる。

【0021】

2 領域サイクルシミュレーションでは、エンドガス（未燃ガス）の温度・圧力履歴に自着火モデルを組み込むことにより、エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する。

【0022】

2 領域サイクルシミュレーション内で予測された自着火発生時期および自着火による発熱量に基づいて、ノッキング強度を推定する。このノッキング強度に応じて MBT (Minimum advance for the Best Torque)、すなわち出力トルク及び燃料消費率が最良となる点火時期と、ノッキング発生点であるノックトレース点とを演算する。

【0023】

そして、MBT 及びトレースノック点に基づいて、燃焼制御手段は、トレースノック相当のノッキング強度以下となるように、例えば点火時期を制御する等の制御により燃焼を制御する。一方、MBT 及びトレースノック点は、2 領域サイクルシミュレーションにおいて熱発生パターンの設定に利用されてフィードバックされる。

【0024】

ここで、筒内の燃焼状態は、燃焼室 4 を、火炎面を境として未燃部と既燃部とに分割した、いわゆる 2 領域モデルを基本としたサイクルシミュレーションによって予測する。

【0025】

図 3 は、2 領域モデルの概略図であり、燃焼室 4 を上から見た状態を示す図である。図示の通り、燃焼室 4（筒内）を既燃部（Burned Zone）の領域と、未燃部（Unburned Zone）すなわちエンドガスの存在する領域との 2 つの領域に分割している。なお、図中の太線の円は火炎面を示し、×印は点火プラグ 10 の位置を示している。

【0026】

簡略化した燃焼室 4 の形状において、点火プラグ 10 の位置から球面状に火炎（Flame）が伝播するものと仮定する。火炎の進行に伴って、質量およびエンタルピが未燃部から既燃部へと移動し、既燃部における発熱・膨張によって未燃部が圧縮される。そして、エンドガス（未燃部のガス）の温度・圧力により自己着火を予測するため、未燃部には自着火モデルを組み込み、火炎の進行が完了する前に未燃部において自着火が発生すればノッキングと判定し、自着火が発生した時期と自着火による発熱量とを出力する（図 2 参照）。

【0027】

次に、2 領域モデルにおいて燃焼予測計算を行う手法について説明する。既燃部及び未燃部のエネルギー保存式は、単位時間で見ると以下のようにそれぞれ記述される。

【0028】

【数 1】

$$md(x_b u_b) + pdV_b - mdx_b h_u - dQ_{b,wall} = 0$$

【0029】

【数 2】

$$md((1-x_b)u_u) + pdV_u + mdx_b h_u - dQ_{u,wall} = 0$$

【0030】

ここで、 m は質量、 x は質量割合、 u は比内部エネルギー（内部エネルギーの微係数）、 p は圧力、 V は容積、 dx_b は単位時間あたりに未燃部から既燃部へ移動する質量割合、 h は比エンタルピー、及び Q は気体の授受する熱量を示している。なお、添え字 b 、 u はそれぞれ既燃部、未燃部を表す。第3項 ($mdx_b h_u$) は火炎面を通じて未燃部から既燃部へと移動するエンタルピーを示し、第4項 ($dQ_{b,wall}$ 、 $dQ_{u,wall}$) は、既燃部・未燃部の燃焼室壁面からの熱伝達を示している。本モデルは2領域モデルで燃焼室4は密封であり、時間毎に容積 V が保存されるため、既燃部・未燃部の体積には、以下の関係がある。

【0031】

【数 3】

$$dV_b + dV_u = dV$$

【0032】

なお燃焼室4の全体の容積 V は、クランク角度 θ の関数として与えられる。また、既燃部・未燃部のそれぞれについて、以下の状態方程式が成り立つ。

【0033】

【数 4】

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV_b}{V_b} = \frac{dx_b}{x_b} + \frac{dR_b}{R_b} + \frac{dT_b}{T_b}$$

【0034】

【数5】

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV_u}{V_u} = -\frac{dx_b}{1-x_b} + \frac{dR_u}{R_u} + \frac{dT_u}{T_u}$$

【0035】

ここで、 R はガス定数、 T は温度を示している。既燃部の質量割合 x_b は、実験的に得られた熱発生パターンをテーブルにて与えてもよいが、本実施形態では以下のWiebe関数にて与えることとする。

【0036】

【数6】

$$x_b = 1 - \exp \left[-a \left(\frac{\theta - \theta_0}{\Delta \theta} \right)^{m+1} \right]$$

【0037】

ここで、 θ_0 は燃焼開始時期のクランク角度、 $\Delta \theta$ は燃焼開始から終了までのクランク角度（期間）、 a 、 m はモデル定数を示している。燃焼室壁面からの伝熱については、筒内のガスが断熱状態にあるものと仮定して、(1)、(2)式の第4項 ($dQ_{b,wall}$ 、 $dQ_{u,wall}$) はゼロとして扱う。そして、上記(1)～(6)式を連立し、機関運転状態検出手段による情報から推定された各状態値を初期値として、クランク角 θ に応じて方程式を解いていくことで、燃焼室4内における既燃部・未燃部の状態変化を予測する。なお、燃焼室壁面からの伝達を、後述する実施形態において説明するように内燃機関を対象とした伝熱モデルを利用して与える方法もある。

【0038】

ノッキングの発生の有無については、前述の通り、エンドガスすなわち未燃部のガスに対して着火モデルを適用することで予測する（図2参照）。そして、所定の時期におけるエンドガスの着火遅れ時間 τ を予測し、この着火遅れ時間から自着火発生時期と自着火による発熱量とを予測する。エンドガスの着火遅れ時間 τ を表すモデルとして、次式に示すものが知られている。

【0039】

【数7】

$$\tau = Ap^{-n} \exp\left(\frac{B}{T}\right)$$

【0040】

ここで、A、B、nはモデル定数を示している。(7)式は、エンドガスが所定圧力・温度状態にあるときの着火遅れ時間 τ を与えるものであり、この式の適用に際しては、エンドガスが既に筒内圧の上昇に伴う圧縮により、ある程度高温・高圧の状態にあることが予測精度上必要である。このため、(1)～(6)式をクランク角 θ に応じて解いていく過程で、筒内圧力が最も高くなる θ_{pmax} において、(7)式を適用することが最も妥当である。

【0041】

そして、クランク角 θ_{pmax} において求められた着火遅れ時間 τ を、時間単位からクランク角単位に変換し、 θ_{pmax} に加算すればエンドガス自着火発生時期の予測値 θ_{knock} が得られる。同時に、(6)式に θ_{knock} を代入することで、その時点での熱発生割合が得られるため、1からこれを減算することで、 θ_{knock} における未燃ガス割合、すなわち自着火による発熱量（自着火によって燃焼する発熱割合）の予測値 $X_{auto-ign}$ が得られる。

【0042】

ここで、自着火発生時期の予測値 θ_{knock} と自着火による発熱量の予測値 $X_{auto-ign}$ との組み合わせに対するノッキング強度について説明する。

従来、点火時期を進角した（上死点に近づけた）場合、エンドガスの自着火による発熱量が大きくなり、ノッキング強度も強くなることが知られており、図4に示す引用図（SAE 880196(1988)）にもそのことが示されている。なお図4（イ）の横軸はクランク角 θ （deg. A B D C）、縦軸は通常の燃焼質量割合（NORMALIZED BURNED MASS RATE）、（ロ）の横軸はクランク角 θ 、縦軸は自着火混合部分（AUTO-IGNITED MIXTURE FRACTION）を示している。

【0043】

しかしながら、図4に示されている知見は、同じ運転条件下において点火時期のみを変更することで得られたものであり、例えば燃料のオクタン価が変わった場合や、可変バルブタイミング機構によって実質的な圧縮比が変わった場合においても、普遍的に成立する関係であるか否かは不明であった。

【0044】

そこで本発明では、様々な運転条件下においてノッキングに関する実験を実施し、その結果を解析することで、自着火発生時期と自着火による発熱量とに対するノッキング強度の関係について明らかにすることを試みた。

【0045】

図5は、図4と同様の実験についてサイクル毎の実験解析結果を示す図であり、横軸は上死点(TDC)からのクランク角(CA at Knock Occurrence) θ_{knock} (deg. ATDC)、すなわち自着火発生時期、縦軸は自着火混合部分(Auto-Ignited Mixture Fraction) (%)、すなわち自着火による発熱量を示している。なお、図中の○印は燃料のオクタン価(RON)が90の場合の結果、◇印は燃料のオクタン価が100の場合の結果を示している。

【0046】

オクタン価90の燃料を使用した実験では、図4と定性的・定量的に同様の傾向を示していることが解る。一方、同条件においてオクタン価100の燃料を使用した実験では、同じノッキング強度においても、自着火の発生時期および自着火による発熱量が共にオクタン価90の場合とは大きく異なっていることが解る。すなわち、オクタン価が高ければ自着火の発生時期が上死点に近づき、自着火による発熱量が少なくなり、ノッキングの発生が起り難くなることを示している。

【0047】

図6は、図5におけるサイクル毎の実験解析結果をサイクル数に対して平均し、さらに燃料や圧縮比の異なる条件を追加して示す図であり、横軸は上死点(TDC)からのクランク角(CA at Knock Occurrence) θ_{knock} (deg. ATDC)、すなわち自着火発生時期、縦軸は自着火混合部分(Auto-Ignited Mixture Fraction) (%)、すなわち自着火による発熱量を示している。

【0048】

同ノッキング強度においてエンドガスの自着火が進角側で発生する程、その時の自着火による発熱量が小さいことが解る。すなわち、ノッキング強度は、エンドガスの自着火による発熱量が大きいほど強く、エンドガスの自着火が進角側で発生する場合、僅かな発熱量であっても比較的強度の強いノッキングが発生することであり、エンドガスの自着火（発生時期、発熱量）の予測からノッキングの発生を予測する場合には、この関係を考慮することが重要となる。

【0049】

図7は、1200rpm及び2400rpmについて、図6におけるノッキング発生点、すなわちトレースノック点だけを示し、それぞれ指数関数による近似を行った図であり、横軸は上死点（TDC）からのクランク角（CA at Knock Occurrence） θ_{knock} （deg. ATDC）、すなわち自着火発生時期、縦軸は自着火混合部分（Auto-Ignited Mixture Fraction）（%）、すなわち自着火による発熱量を示している。なお、◆は1200rpm、◇は2400rpmの場合を示している。

【0050】

自着火の発生時期と自着火による発熱量との相関曲線が、指数関数において良く近似していることが解る。そして、2400rpmにおける近似曲線は、図の下側の方に位置しており、高回転側ではより少ない発熱量で、ノッキング強度が同じトレースノックを生じていることが解る。すなわち、回転速度（回転数）が高回転である程、ノッキング強度が強いことを示している。なお、1200rpmと2400rpmとの中間回転速度における相関曲線は、両者の内挿によって得ることができる。なお、異なるノッキング強度に対する相関曲線も求めることができる。

【0051】

以上の説明のように、本実施形態では実機における様々な条件下のノッキング現象を解析した結果、エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量の組み合わせと、ノッキング強度との間に相関があることを見出すことができる。この相関を、エンドガスの自着火発生時期の予測値 θ_{knock} および自着火による

発熱量の予測値 $X_{\text{auto-ign}}$ に対して適用することで、サイクルシミュレーションの予測値からノッキング強度の予測値を得る。

【0052】

実際の火花点火式内燃機関において、出力トルク及び燃料消費率が最良となる点火時期MBTより進角側にノッキング限界が存在する場合は、通常ノッキング回避制御を行う必要は無く、MBTに点火時期を設定することが熱効率の観点から最も適切である。

【0053】

MBTを基準とした設定点火時期は、機関回転速度と負荷とに対するマップ上に用意されることが通常であるが、MBTに相当する点火時期も、ノッキング限界と同様に機関の運転状況に応じて変化するため、設定点火時期をマップで用意することには限界がある。

【0054】

そこで本制御装置においては、サイクルシミュレーションによりノッキング強度を予測しており（図2参照）、この時のトルクについて容易に同時演算することが可能であることから、MBTについてもノッキング強度と同時に予測して求めることが合理的である。

【0055】

すなわち、Wiebe関数にて表現された熱発生パターンに対するノッキング強度及びトルクに関する予測を行い（図2参照）、熱発生パターンの時期をずらしつつ、これを数回～数十回繰り返すことで、トレースノック相当となる点火時期と、MBTとなる点火時期とを知ることができる。

【0056】

図8は、この複数回の予測から、トレースノック相当となる点火時期を得る手法を示した図であり、（イ）の横軸は燃焼開始時期、すなわち点火時期（Start of Combustion） θ_0 （deg. ATDC）、縦軸は自着火混合部分（Auto-Ignited Mixture Fraction）（%）、すなわち自着火による発熱量を示し、（ロ）の横軸は上死点（TDC）からのクランク角（CA at Knock Occurrence） θ_{knock} （deg. ATDC）、すなわち自着火発生時期、縦軸は自着火による発熱量を

示している。

【0057】

図8（ロ）に左上から右下にかけて示される曲線 α は、サイクルシミュレーションによる自着火発生時期と自着火による発熱量とをプロットしたものを結んだ曲線である。一方、左下から右上に描かれる曲線 β は、トレースノック相当を示す相関曲線（ $y=0.826\exp(0.101x)$ で表す）であり、両曲線 α 、 β の交点がこの運転条件下におけるトレースノック点として求められる。

【0058】

曲線 α 、 β の交点における自着による発熱量に基づいて、図8（イ）に示すように、横軸を点火時期とした図において交点となる点により求めることで、トレースノック点火時期を求めることができる。MBTについては、単純に計算範囲内で、トルクが最大となる点火時期を求めればよい。

【0059】

上記の手順にて求められたトレースノック点火時期及びMBT点火時期について、遅角側にあるものを設定点火時期として選択し、燃焼制御手段に対して設定する（図2参照）。これにより、機関の熱効率を出来るだけ高く維持しつつ、機関の耐久性に問題を与える可能性のある強いノッキングの発生を回避することが可能となる。

【0060】

以上の説明のように、サイクルシミュレーションによりエンドガスの自着火発生時期と自着火による発熱量とを予測し、両者の関係からノッキング強度を予測して、これが所定値以下、すなわちトレースノック相当以下となるように点火時期を制御することで、過剰な点火時期遅角制御による本来不必要な熱効率低下を生じることなく、機関の耐久性を維持して運転することが可能となる。

【0061】

本実施形態によれば、火花点火式内燃機関において、機関の運転状態を検出する手段と、検出された機関運転状態に基づいてエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段と、機関の燃焼を制御する手段と、を備え、予測手段によるエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量の関係

が、ノッキング強度が所定値以下となるよう、燃焼制御手段により機関の燃焼制御を行う。このため、予測されたエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量の関係に基づいて、ノッキング強度が所定値以下となるように燃焼制御を行うことができ、ノッキングの強度を考慮しつつ機関の熱効率を良好に維持することができる。

【0062】

また本実施形態によれば、予測された自着火発生時期および自着火による発熱量からノッキング強度を推定する手段を備え、ノッキング強度推定手段によるノッキング強度が所定値以下となるよう、燃焼制御手段により機関の燃焼制御を行う。このため、エンドガスの自着火発生時期と自着火による発熱量とからノッキング強度を推定することで、より確実にノッキング強度が所定値以下となるように燃焼制御可能となる。

【0063】

また本実施形態によれば、ノッキング強度は、エンドガスの自着火による発熱量が大きい程強く、自着火発生時期が進角側である程強いと判定する。このため、エンドガスの自着火による発熱量と自着火発生時期とノッキング強度との関係が提供され、燃焼制御の実現がより容易になる。

【0064】

また本実施形態によれば、ノッキング強度は、機関回転速度（回転数）が高回転側である程強いと判定する。このため、エンドガスの自着火発生時期と自着火による発熱量とノッキング強度との関係が、機関回転速度に対しても提供され、更に燃焼制御の実現がより容易になる。

【0065】

また本実施形態によれば、ノッキング強度に関する所定値は、トレースノック相当のノッキング強度である。このため、トレースノック相当とするという指針を提供でき、機関の耐久性上の問題を回避できるだけでなく、燃焼制御の実現がより容易になる。

【0066】

また本実施形態によれば、燃焼制御手段は、点火時期を制御する手段である。

このため、ノッキングの発生を予測してから実際の燃焼制御を実施するまでの時間が短くて済み、確実にノッキング回避制御が可能となる。

【0 0 6 7】

また本実施形態によれば、エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段は、エンドガスの着火遅れ時間を予測する手段である。このため、予測手段が簡便であり、簡単な構成で実現できる。

【0 0 6 8】

また本実施形態によれば、エンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測する手段は、エンドガスの着火遅れ時間を予測する手段である。このため、予測手段を簡便で簡単な構成で実現できる。

【0 0 6 9】

次に、第 2 の実施形態に係る火花点火式内燃機関の燃焼制御装置について説明する。本実施形態においては、図 2 中に示される自着火モデルについて、第 1 の実施形態とは異なるモデルを採用するものである。

【0 0 7 0】

第 1 の実施形態においては、(7) 式に示される着火遅れ時間 τ を与える式に基づき、ある時点での未燃ガスの温度・圧力から着火遅れ時間 τ を求め、その遅れ時間 τ の経過後に自着火が発生するとして、エンドガスの自着火発生時期と自着火による発熱量とを予測していたが、第 2 の実施形態においては、着火遅れ時間 τ の経過中における温度・圧力の変化が大きい場合に、予測精度を十分にするためのものである。

【0 0 7 1】

そこで本実施形態においては、自着火予測モデルとして、時間経過と共に着火遅れ時間 τ が変化することを考慮した Livengood-Wu 積分と呼ばれるものを採用する。このモデルは、ある瞬間における温度・圧力等からその状態下での着火遅れ時間 τ を求め、この逆数を時間推移に沿って積分するものである。この積分値が 1 となった時点で、自着火が発生すると判定される。この関係を式に示すと以下のようなになる。

【0 0 7 2】

【数 8】

$$\int \frac{1}{\tau} dt = 1$$

【0073】

(8) 式中の着火遅れ時間 τ は、(7) 式のように温度 T ・圧力 p の関数として表現してもよいし、ECU 11 内に温度 T ・圧力 p を軸とした着火遅れ時間 τ のマップを用意し、これを参照してもよい。

【0074】

時間推移に応じ、サイクルシミュレーションによって未燃ガスの温度 T ・圧力 p 等の変化を予測し、その予測値に基づいて着火遅れ時間 τ を求め、同時に (8) 式に示す着火遅れ時間の逆数の積分を求める。この積分値が 1 となった時点が、エンドガスの自着火発生時期の予測値 θ_{knock} であり、(6) 式にこの予測値 θ_{knock} を代入することで、その時点での熱発生割合を求め、1 からこれを減算することで、予測値 θ_{knock} における未燃ガス割合、すなわち自着火による発熱量（自着火によって燃焼する発熱割合）の予測値 $X_{\text{auto-ign}}$ が得られる。以降は、第 1 の実施形態と同様に、トレースノック点火時期と MBT 点火時期とを求め、点火時期制御を行う。

【0075】

ここで、サイクルシミュレーションにおける伝熱モデルの適用例について説明する。第 1 の実施形態においては、筒内のガスは断熱状態にあるものと仮定して、(1)、(2) 式の第 4 項 ($-dQ_{b, \text{wall}}$ 、 $-dQ_{u, \text{wall}}$) はゼロであるとしたが、燃焼室壁面からの伝熱については、内燃機関を対象とした伝熱モデルが知られており、これを利用して燃焼室壁面への伝熱をシミュレーション内で考慮することで、予測精度をさらに高精度化できる。

【0076】

燃焼室壁面への熱伝達モデルとしては、Woschni のモデルを適用する。そして、(1)、(2) 式における第 4 項 ($-dQ_{\text{wall}}$) は、伝熱面積 A 、熱伝達率 h_c 、及び燃焼室壁面の温度 T_{wall} 用いて、

【0077】

【数9】

$$-dQ_{wall} = Ah_c(T - T_{wall})$$

【0078】

と表される。熱伝達率 h_c は、Woschni のモデルによれば、

【0079】

【数10】

$$h_c = CB^{m-1} p^m w^m T^{0.75-1.62m}$$

【0080】

【数11】

$$w = C_1 \overline{S_p} + C_2 \frac{V_d T_r}{p_r V_r} (p - p_m)$$

【0081】

と記述される。ここで、 C 、 m はモデル定数、 B はボア径、 p は筒内圧力、及び T は筒内ガス平均温度である。(11) 式において、 $\overline{S_p}$ は平均ピストン速度、 V_d は排気量、 p_m はモータリング時の筒内圧力を示している。添え字 r はリファレンスとなる点を示し、例えば吸気バルブ5の閉時期などに設定される。モデル定数 C_1 、 C_2 は圧縮～燃焼～膨張というサイクル中のフェーズに応じて変更される。

【0082】

Woschni のモデルは、燃焼室全体の平均熱伝達を与えるモデルであるので、サイクルシミュレーションのような2領域モデルに適用するためには、何らかの方法で熱伝達量を既燃ガス・未燃ガスに分担する必要がある。

【0083】

しかしながら、熱発生期間中のエンドガスは、ほぼ断熱状態にあるものと見なせるため、(2) 式において $-dQ_{u,wall} = 0$ とし、(1) 式中の $-dQ_{b,wall}$ が(9) 式に示す平均温度から求めた熱伝達量と等しいとして与えればよい。

【0084】

以上の説明のように、本実施形態によれば、サイクルシミュレーション内で、未燃ガスの着火遅れ時間 τ の逆数を積分して自着火を予測する手法により、例えば燃焼速度が大きく、未燃ガスの温度・圧力等の変化が大きい機関においても、エンドガスの自着火発生時期と自着火による発熱量を精度良く予測し、両者の関係からノッキング強度を予測して、これがトレースノック相当以下となるように点火時期を制御することで、過剰な点火時期遅角制御による本来不必要な熱効率低下を生じることなく、機関の耐久性を維持して運転することが可能となる。また、燃焼室壁面への伝熱モデルを採用することで、さらに高精度化が可能となる。

【0085】

次に、第3の実施形態に係る火花点火式内燃機関の燃焼制御装置について説明する。

本実施形態においては、図2中に示される自着火モデルについて、第1の実施形態とは異なるモデルを採用するものである。また、伝熱モデルについては、第2の実施形態と同様に扱うものとし、ここでは説明を省略する。

【0086】

本実施形態においては、化学素反応モデルに基づく自着火予測手段を採用する。ここで化学素反応モデルとは、通常数十～数百の素反応の組み合わせによって、全体の化学反応を記述したもので、分子同士の衝突・反応という、より実際の物理現象に基づいたモデルをいう。このモデルにより、未燃ガスの自着火現象に対する、温度・圧力の影響だけでなく、ガス組成や燃料性状の違いについても、高精度な予測を行うことが可能である。そしてこの化学素反応モデルを、サイクルシミュレーションの未燃ガスに対して適用することで、バルブタイミングや圧縮比の変化だけでなく、当量比や残留ガス率、ガソリンオクタン価の変化に対しても、高精度にノッキング現象の予測が可能となる。

【0087】

以下、化学素反応モデルを適用してエンドガスの自着火を予測する手法について説明する。(1)～(6)式に示す基礎方程式、及び(9)～(11)式に示

す伝熱モデルに関しては、既に説明した実施形態と同様である。燃焼室 4 内のガスは、化学種 i が質量分率 y_i の割合で混合したガスであると扱われる。素反応モデルでは、これら化学種 i の質量分率 y_i が反応の進行に伴って変化することを、以下の式にて記述する。

【0088】

【数12】

$$dy_{i,u} = \frac{M_i}{\rho_u} \omega'_{i,u}$$

【0089】

ここで、 $\omega'_{i,u}$ は化学種 i の生成速度であり、 M_i は化学種 i の分子量を示している。なお、 $\omega'_{i,u}$ はアレニウス型で反応速度を記述した素反応メカニズムを与えることで、 p 、 T_u 、 $y_{i,u}$ の関数として表される。この生成速度は、例えば化学素反応計算用として広く知られているCHEMKINライブラリを用いることで、容易に得ることができる。

【0090】

同様に、反応に伴う内部エネルギーの変化 du_u は、化学種の生成速度 $\omega'_{i,u}$ を利用して、以下の式で記述される。

【0091】

【数13】

$$du_u = \sum_i \frac{u_{i,u} \omega'_{i,u} M_i}{\rho_u}$$

【0092】

また、ガス定数 R_u の変化は、 R_{uni} の～を一般ガス定数、 M_u を平均分子量として、

【0093】

【数 14】

$$dR_u = - \frac{\tilde{R}_{uni}}{M_u^2} dM_u$$

【0094】

【数 15】

$$dM_u = \sum_i \frac{M_u \omega'_{i,u} M_i}{\rho_u}$$

【0095】

と表すことができる。

これら素反応モデルに関する式は未燃部（添え字 u）についてのみ記述したが、添え字を b に代えて既燃部にも同様に素反応モデルを適用可能である。これにより未燃部の自着火であるノッキング現象だけでなく、既燃部における熱解離の影響や NO の生成などを予測することも可能となる。

【0096】

(1) ~ (6) 式及び (9) ~ (11) 式に加え、(12) ~ (15) 式の方程式を連立し、クランク角 θ に応じて解いていく。素反応モデルによる自着火計算は、急激な変化を伴う複雑な系であり、計算には高精度かつ安定なソルバーを使用する。サイクルシミュレーションに素反応モデルを適用したことで、未燃ガスの温度 T_u ・圧力 p_u 等及び化学種 i の質量分率 M_i の変化等が、時間推移に伴って予測される。

【0097】

素反応モデルにおいては、着火現象も連続した化学反応の一部であるので、着火が発生したか否かについて、何らかの判断基準を設ける必要がある。この基準は、エンドガス部の温度 T_u が所定値以上になったこと、とすることが可能である。

【0098】

上記により、エンドガス部で自着火が発生したことが判断されれば、エンドガ

スの自着火発生時期の予測値 θ_{knock} が定まり、(6) 式に θ_{knock} を代入することで、その時点での熱発生割合を求め、1 からこれを減算することで、 θ_{knock} における未燃ガス割合、すなわち自着火による発熱量（自着火によって燃焼する発熱割合）の予測値 $X_{\text{auto-ign}}$ が得られる。以降は、第 1 の実施形態と同様に、トレースノック点火時期と MB T 点火時期とを求め、点火時期制御を行う。

【0099】

図 9 は、本実施形態にて説明した、サイクルシミュレーションによる予測例を示す図であり、横軸は圧縮比、縦軸は点火遅角 $\Delta A D V$ を示している。そして、機関の圧縮比を変更した場合に、トレースノックとなる点火時期がどの程度変化するかについては、予測値を実線、実験値を破線で示して比較している。なお、◆は 1 2 0 0 r p m、◇は 2 4 0 0 r p m の場合を示している。

【0100】

異なる機関回転速度において、予測値は定性的・定量的に実験値を良く再現しており、本実施形態による予測の妥当性が示されている。

以上の説明のように、本実施形態によれば、サイクルシミュレーション内で、未燃ガス部に化学素反応モデルを適用して自着火を予測することにより、温度・圧力の変化だけでなく、ガス組成や燃料性状の違いについても、高精度な予測を行うことが可能となり、バルブタイミングや圧縮比の変化だけでなく、当量比や残留ガス率、ガソリンオクタン価の変化に対しても、エンドガスの自着火発生時期と自着火による発熱量とを精度良く予測し、両者の関係からノッキング強度を予測して、これがトレースノック相当以下となるように点火時期を制御することで、過剰な点火時期遅角制御による本来不必要な熱効率低下を生じることなく、機関の耐久性を維持して運転することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 火花点火式内燃機関の燃焼制御装置の構成図

【図 2】 第 1 の実施形態における制御フローの概略図

【図 3】 燃焼室 2 領域サイクルシミュレーションの概略図

【図 4】 自着火発生時期と自着火による発熱量との関係についての引用図

【図 5】 サイクル毎の自着火発生時期と自着火による発熱量とを示す図

【図6】 自着火発生時期と自着火による発熱量との関係についてノッキング強度を示す図

【図7】 トレースノックにおける自着火発生時期と自着火による発熱量とを示す図

【図8】 トレースノック相当となる点火時期を求める概略図

【図9】 第3の実施形態における予測手法によるトレースノック感度の予測例を示す図

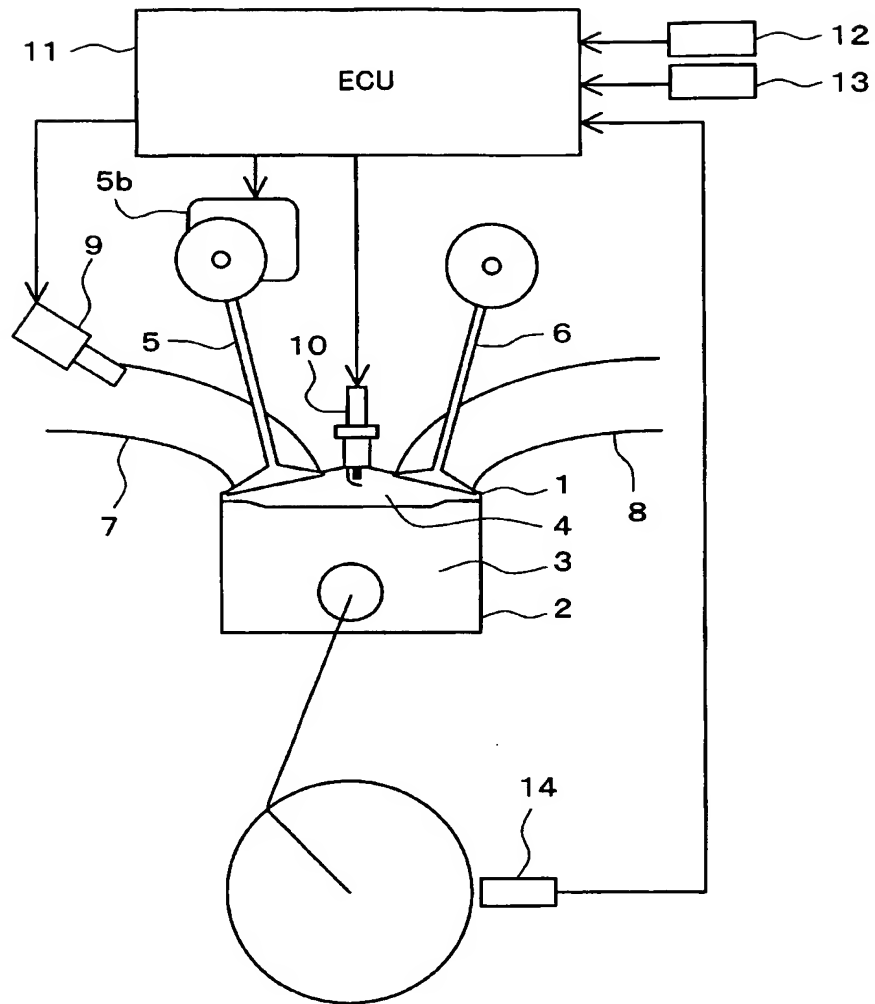
【符号の説明】

- 1 シリンダヘッド
- 2 シリンダブロック
- 3 ピストン
- 4 燃焼室
- 5 吸気バルブ
- 6 排気バルブ
- 7 吸気ポート
- 8 排気ポート
- 9 燃料噴射弁
- 10 点火プラグ
- 11 エンジンコントロールユニット
- 12 アクセル開度センサ
- 13 水温センサ
- 14 クランク角センサ

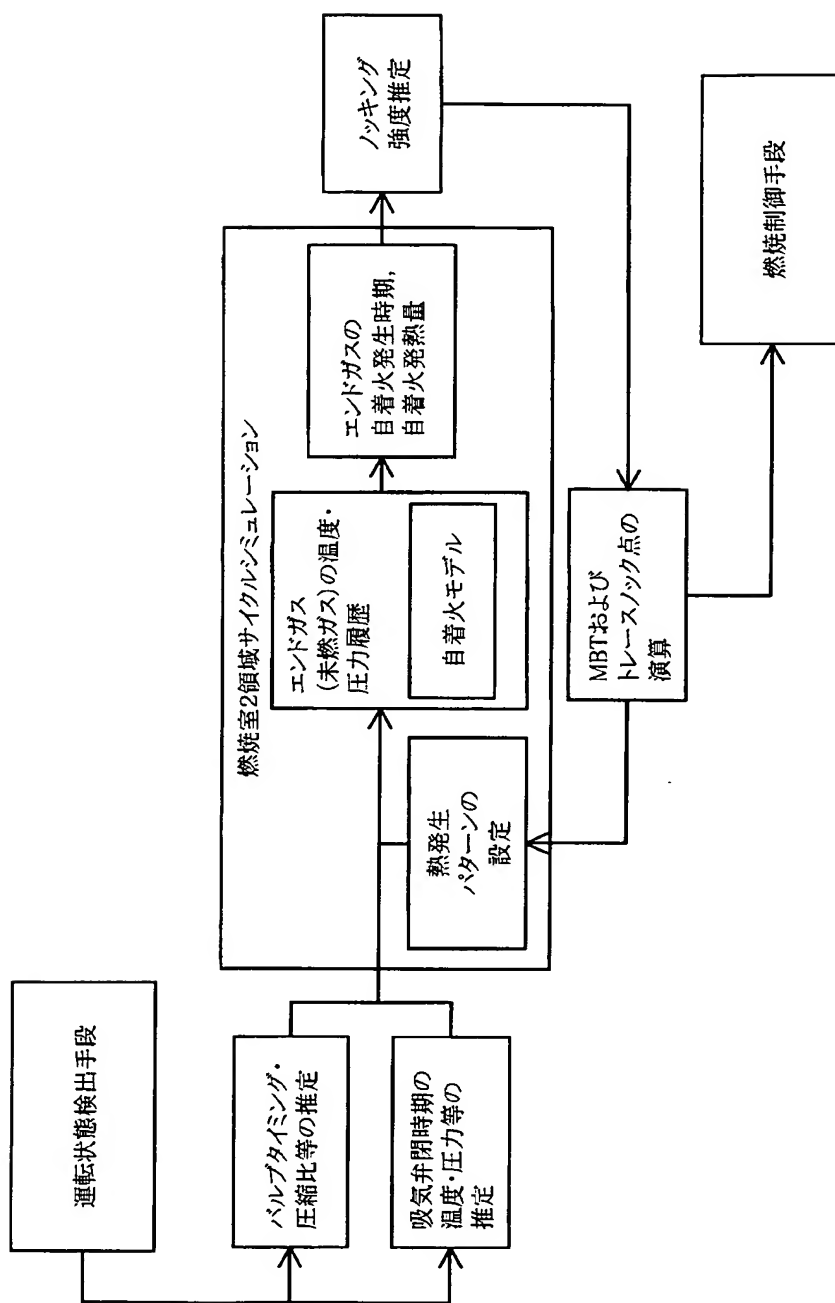
【書類名】

図面

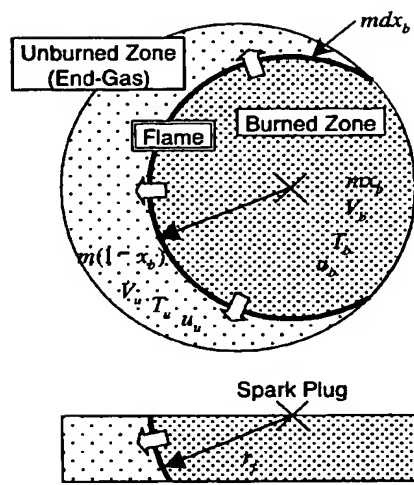
【図 1】



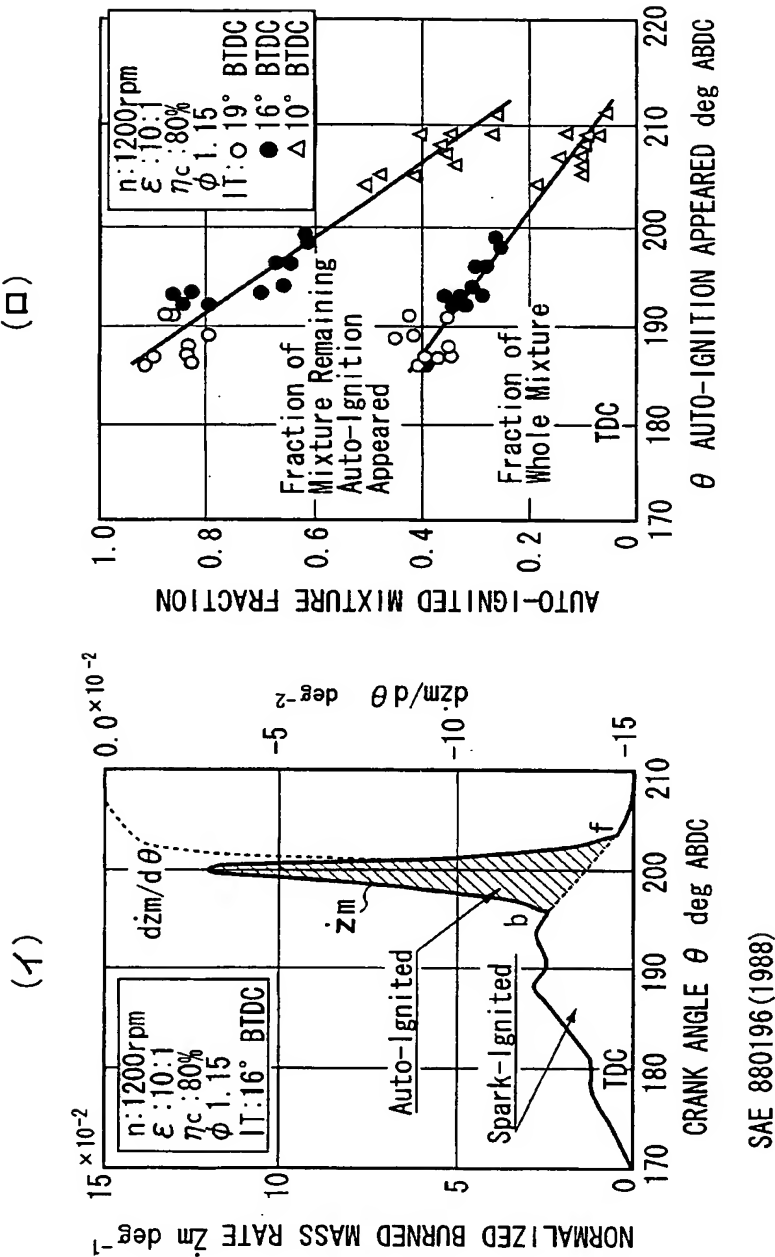
【図 2】



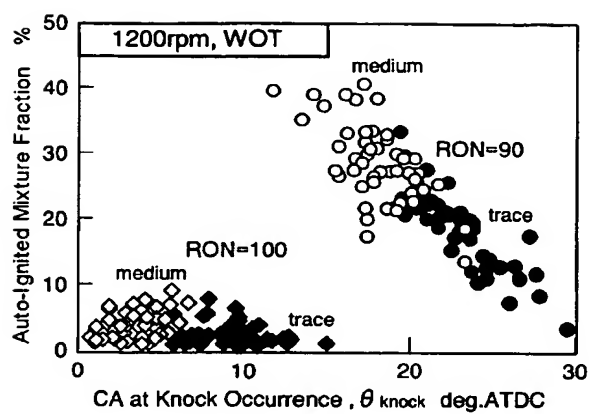
【図 3】



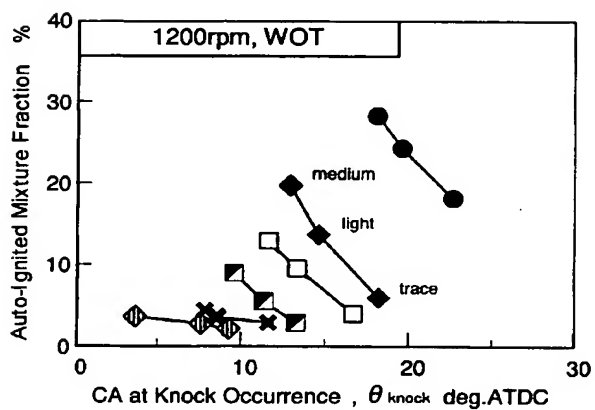
【図 4】



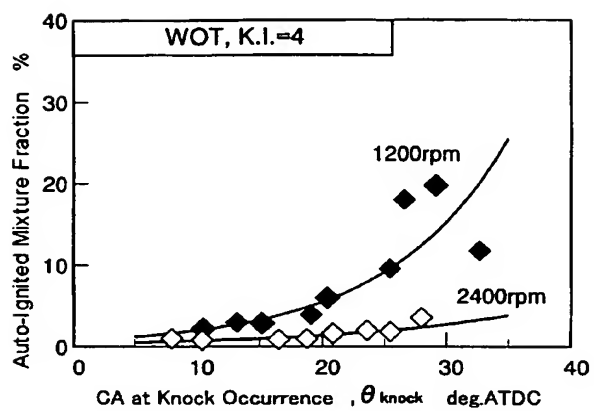
【図 5】



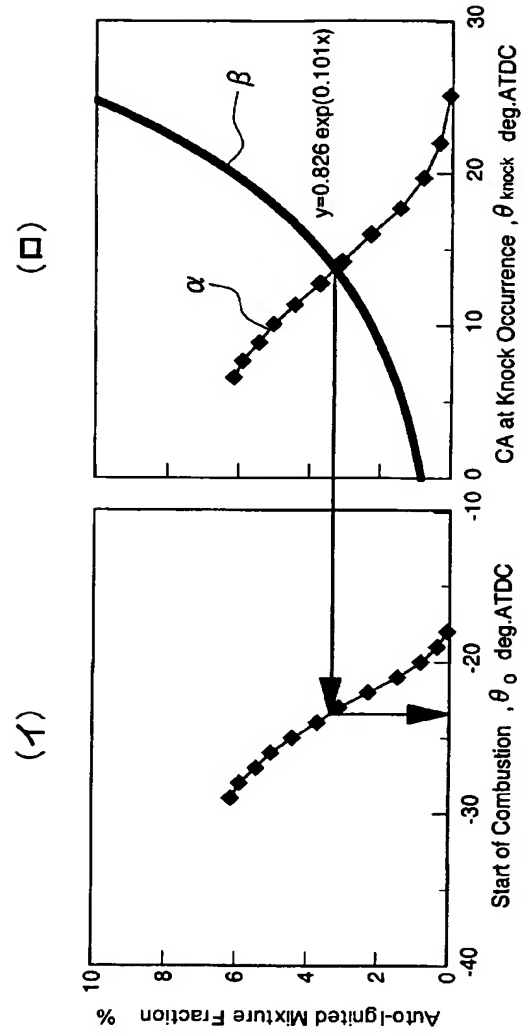
【図 6】



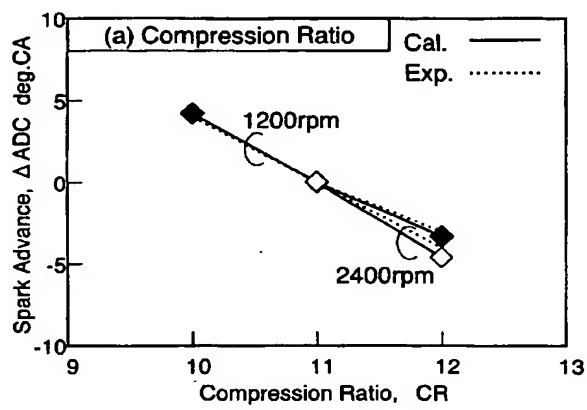
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ノッキング回避制御の精度を向上させ、機関の効率を維持可能な燃焼制御を行う。

【解決手段】 各種センサからの信号に基づき機関の運転状態を検出し、これに基づいて、既燃部と未燃部との燃焼室 2 領域サイクルシュミレーションによりエンドガスの自着火発生時期および自着火による発熱量を予測し、予測された自着火発生時期および自着火による発熱量からノッキング強度を推定して、このノッキング強度が所定値以下となるよう、機関の燃焼制御を行う。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 3 - 1 2 6 8 6 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 3 9 9 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地

氏 名

日産自動車株式会社